

УДК: 621.791.75

И. С. Пономарев, Е. А. Кривоносова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь

ПОЛУЧЕНИЕ ТВЕРДЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ МИКРОПЛАЗМЕННЫМ ОКСИДИРОВАНИЕМ

В данной статье рассматриваются механические свойства оксидных покрытий, полученных при микроплазменном оксидировании на различных частотах электрического тока, приведены результаты измерений толщины и твердости различных образцов. Выявлено, что повышение частоты электрического тока процесса влияет на механические свойства и толщину оксидного покрытия.

Ключевые слова: микроплазменное оксидирование, источник тока, частота электрического тока, оксидное покрытие, толщина, микротвердость.

I. S. Ponomarev, E. A. Krivonosova

RECEIVING HARD PROTECTIVE COATING OF ALUMINUM ALLOYS HIGH-FREQUENCY MICRO PLASMA OXIDATION

In this article mechanical properties of the oxide coverings received at microplasma oxygenating at various frequencies of electric current are considered, results of measurements of thickness and hardness of various samples are given. It is revealed that increase of frequency of electric current of process influences mechanical properties and thickness of an oxidic covering.

Keywords: microplasma oxidation, current source, the frequency of the electric current, the oxide coating, the thickness, microhardness.

Введение

Основные тенденции современного машиностроения направлены на повышение производительности машин и механизмов при уменьшении их размеров и массы. Одним из наиболее приемлемых способов является использование новых легких металлов, таких как алюминий и его различные сплавы. За счет малого удельного веса и относительно высокой прочности и небольшой стоимости алюминия, его применение в машиностроении, в

последнее время, стало достаточно распространенным. Обладая рядом положительных качеств, алюминий имеет и ряд недостатков. Одним из наиболее значимых недостатков является его низкая износостойкость, ограничивающая использование алюминия в высокоскоростных механизмах и парах трения [1; 2].

На сегодняшний день существует большое разнообразие методов поверхностной обработки и упрочнения алюминиевых сплавов. Одним из наиболее эффективных и экологически безопасных способов является микроплазменное оксидирование поверхностного слоя деталей из алюминиевых сплавов. В основе процесса лежит высокотемпературная реакция создания керамикоподобного покрытия на поверхности деталей, обладающее низкой тепло- и электропроводностью, высокой твердостью и износостойкостью [3].

Технология процесса микроплазменного оксидирования представляет собой создание покрытия на поверхности деталей, помещенных в среду электролита. Состав электролита включает в себя гидроксиды натрия, калия, а также дополнительные элементы для легирования покрытия, или создания покрытий с определенными оптическими свойствами [4].

В состав покрытия, получаемого при микроплазменном оксидировании входят α - и γ -фазы оксида алюминия (Al_2O_3), а также различные соединения, таких как Al_2SiO_5 (силлиманит) и $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ (ортоклаз) и другие элементы, в зависимости от состава и свойств электролита [5]. Указанные соединения обладают высокой химической и коррозионной стойкостью. Толщина покрытия может достигать 400 мкм, а микротвердость – до 2500 кг/см².

В данной статье рассматривается проведение процесса микроплазменного оксидирования на различных электрических режимах. Производится оценка влияния различных частот электрического тока цепи деталь-электролит на толщину и твердость получаемого оксидного покрытия. Целью данной работы является оптимизация электрических параметров процесса для получения покрытия с максимальными механическими и эксплуатационными характеристиками [6; 7].

1. Материалы и методы исследований

В качестве исследуемого материала, в данном исследовании применялся алюминиевый сплав АМг5 в виде проволоки диаметром 1 мм и длиной 40–50 мм. Рабочий электролит для проведения микроплазменного оксидирования имел следующий состав: КОН – 3,2 г/л; Na_2SiO_3 – 2.4 г/л; H_2O_2 – 80 г/л., дистиллированная вода. Температура электролита поддерживалась с помощью системы охлаждения и составляла 35-40°C для всех проведенных опытов.

Опыты по микроплазменному оксидированию проводились на следующем электрическом режиме: полярный пульсирующий ток с изменяемой частотой пульсации. Время оксидирования для всех образцов было одинаковым и составляло 20 минут. Подробно электрические режимы для каждого опыта указаны в табл. 1.

Таблица 1

Электрические параметры процесса МПО

№ образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Напряжение, В	523	520	515	517	520	515	524	520	519	515	513
Плотность тока, А/дм ²	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Частота тока, Гц	50	1500	3000	4500	6000	7500	9000	10500	12000	13500	15000
Длительность процесса, мин.	20										
Режим тока	Полярный пульсирующий										

Образцы, представляющие собой проволоку из алюминиевого сплава АМг5, закрепляются в диэлектрической емкости с электролитом на одинаковую глубину 40-45 мм. За счет соблюдения полярности электрического тока, один из образцов во всех опытах являлся анодом, второй катодом. В качестве источника электрического тока применялся источник питания инверторного типа с широким диапазоном регулировки электрических параметров, разработанный на кафедре СПиТКМПНИПУ.

2. Методика измерения механических параметров

Измерение толщины и микротвердости оксидных покрытий, полученных при микроплазменном оксидировании на различных частотах.

После проведения экспериментов, производилась заливка образцов, выполнялись поперечные шлифы образцов с покрытием.

Для исследования толщины покрытия использовались микроскоп МИМ-10, совмещенный со специальной фотокамерой ProgresC10 Plus и специальное программное обеспечение Металл 1.0.

Для исследования микротвердости покрытия использовался твердомер ПМТ-3М, выполняющий отпечатки на покрытии.

После выполнения отпечатков на покрытии, измерение их величины производилось также на микроскопе МИМ-10 с программным обеспечением Металл 1.0, функция «Микротвердость».

3. Результаты проведенных исследований

В ходе проведения микроплазменного оксидирования в режиме полярного пульсирующего тока на различных частотах, горение разрядов присутствовало только на образце, являющимся анодом. Толщина оксидного покрытия на образце-аноде варьируется в зависимости от частоты, и значительно выше толщины покрытия на образце-катоде.

Значения толщин и микротвердости покрытий показаны в таблице 2.

Таблица 2

Толщина и микротвердость оксидных покрытий

№ образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Частота тока, Гц	50	1500	3000	4500	6000	7500	9000	10500	12000	13500	15000
Толщина покрытия, мкм	55	39	43	80	52	37	33	39	31	27	28
Микротвердость покрытия, ГПа	7,98	8,76	10,76	8,21	32,5	18,5	10,18	10,8	11,6	6,32	3,72

Графически, зависимость толщины и микротвердости покрытия выглядит следующим образом (рис. 1, 2).

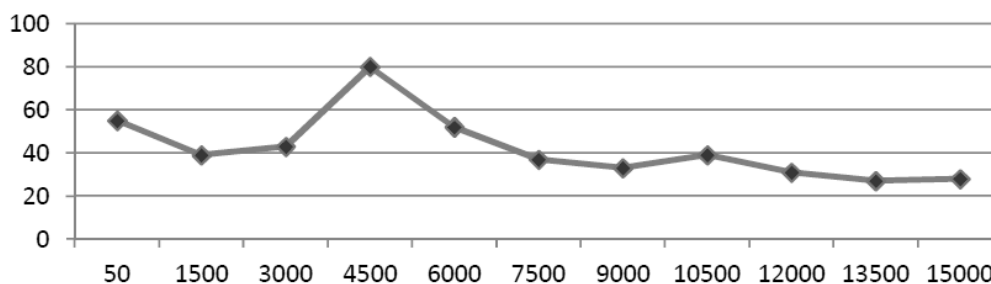


Рис. 1. Графическая зависимость толщины покрытия от частоты тока МПО

На графике зависимости (рис. 1) видно, что толщина покрытия уменьшается в диапазоне частот 50-3000 Гц, а затем имеет резкое увеличение при значении частоты 4500 Гц. При дальнейшем увеличении частоты тока МПО значение толщины уменьшается до 33-39 мкм при частоте 7500 Гц, и остается примерно одинаковым на всех последующих частотах оксидирования.

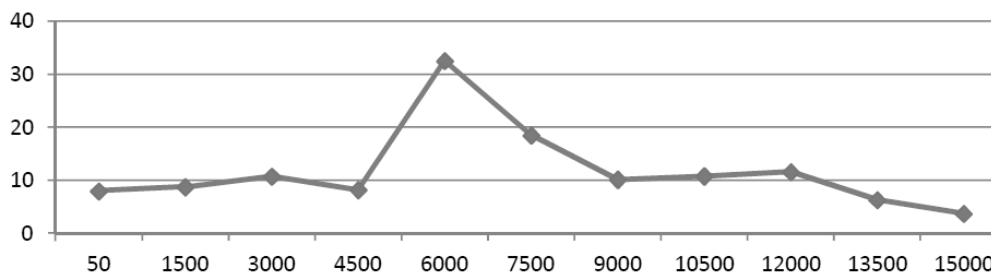


Рис. 2. Графическая зависимость микротвердости покрытия от частоты тока МПО

Как видно из графика, микротвердость оксидного покрытия также не является постоянной величиной и изменяется с повышением частоты, аналогично изменению толщины покрытия. При изменении частоты от 50 Гц до 4500 Гц микротвердость покрытия увеличивается от 7...7,5 до 10,76 ГПа. При достижении частоты тока 6000 Гц микротвердость достигает максимального значения 32,5 ГПа в среднем, на локальных участках измерения микротвердость достигала 59 ГПа. С дальнейшим увеличением частоты импульсов цепи, значения микротвердости значительно снижаются. На частоте 9000 Гц составляет всего 10 ГПа, а при 15000 Гц составляет всего 3,72 ГПа.

4. Выводы

1. Установлено, что изменение частоты импульсов электрического тока в системе деталь-электролит влияет на свойства получаемого покрытия: толщину, микротвердость, пористость, количество дефектов.

2. Максимальное значение толщины МПО-покрытий было достигнуто на частоте импульсов тока, равно 4500 Гц. При повышении частоты выше 9000 Гц толщина оксидного покрытия значительно меньше (около 35-40 мкм), имеет неравномерную структуру и высокую пористость.

3. Максимальное значение микротвердости МПО-покрытий было достигнуто при частоте импульсов тока 6000 Гц и составляет 32,5 ГПа в среднем. Микротвердость на локальных участках данного покрытия составляло около 59 ГПа, что значительно выше достигаемых ранее значений микротвердости (до 25 ГПа).

Работа выполнена в рамках проектной части Государственного задания Министерства образования и науки РФ в сфере научной деятельности № 11.1196.2014/К от 17.07.2014 г.

Список литературы

1. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование)/ И. В. Суминов [и др.]. – М. : ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.
2. Krivonosova Ye. A., Gorchakov A. I., Scherbakov Yu. V. Structure and properties of coatings in microarc oxidation // Welding International 2014, Vol. 28, No. 10 (2014), p.816–819.
3. Nie X., Leyland A., Song H.W., Yerokhin A.L, Dowey S.J., Matthews A. Thickness effects on the mechanical properties of micro-arc oxide coatings on aluminium alloys // Elsevier Science. Surface and coatings technology, 116, 1999, p.1055–1060.
4. Пономарев И. С., Кривоносова Е. А., Горчаков А. И. Влияние режимов оксидирования на микротвердость оксидированных покрытий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2013. – Т. 15, № 3. – С. 56–61.
5. Орлова Д. В., Трушкина Т. В., Вахтеев Е. В., Алякрецкий Р. В. Исследование пористости оксидных покрытий на алюминиевых сплавах // Труды МАИ 2013. № 68. URL: <http://www.mai.ru/upload/iblock/5dc/5dc5d1458aefa7634301151ea824177b.pdf>.
6. Krivonosova E., Gorchakov A. Micro-arc oxidation as efficient technology of increasing of wear resistance of aluminum alloy // Elektrotechnika&Electronica E+E. №5,6. 2013, p.57–59.
7. Пономарев И. С., Кривоносова Е. А. Особенности процесса микродугового оксидирования алюминиевых сплавов при работе с типовыми промышленными источниками питания // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.